

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ ⑯ **Offenlegungsschrift**
⑯ **DE 197 57 197 A 1**

⑯ Int. Cl. 6:
G 02 B 26/08
C 23 F 1/04
H 01 L 49/00

⑯ Aktenzeichen: 197 57 197.2
⑯ Anmeldetag: 22. 12. 97
⑯ Offenlegungstag: 24. 6. 99

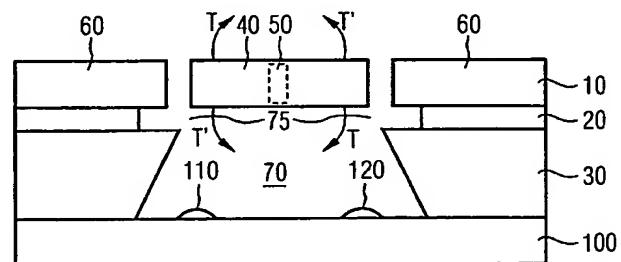
⑯ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑯ Erfinder:
Funk, Karsten, 70195 Stuttgart, DE; Frey, Wilhelm, Dr., 70469 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Herstellungsverfahren für mikromechanische Vorrichtung

⑯ Die Erfindung schafft ein Herstellungsverfahren für eine mikromechanische Vorrichtung, insbesondere für eine mikromechanische Schwingsspiegelvorrichtung, mit den Schritten: Bereitstellen einer dreischichtigen Struktur (10, 20, 30) mit einer ersten Schicht (10), einer zweiten Schicht (20) und einer dritten Schicht (30), wobei die zweite Schicht (20) zwischen der ersten und der dritten Schicht (10, 30) liegt; Durchätzen der ersten Schicht (10) bis zur zweiten Schicht (20) zum Erzeugen eines auf der zweiten Schicht (20) liegenden Inselbereichs (40), der über einen oder mehrere Verbindungsstege (50) mit dem den Inselbereich umgebenden Bereich (60) der ersten Schicht (10) verbunden ist und Durchätzen eines Bereichs (70, 80) der dritten Schicht (30) bis zur zweiten Schicht (20) und Entfernen eines Bereichs (75, 85) der zweiten Schicht (20) unter dem Inselbereich (40), derart, daß der Inselbereich (40) um den einen oder die mehreren Verbindungsstege (50) Bewegungen, vorzugsweise Torsionsschwingungen, ausführen kann, die eine solche Amplitude aufweisen, daß ein Teil des Inselbereichs (40) in den durchgeätzten Bereich (70, 80) der dritten Schicht (30) hineinragt.



DE 197 57 197 A 1

X

DE 197 57 197 A 1

Beschreibung

STAND DER TECHNIK

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Herstellungsverfahren für eine mikromechanische Vorrichtung, insbesondere für einen mikromechanischen Schwingspiegel.

Obwohl auf beliebige mikromechanische Vorrichtungen anwendbar, werden die vorliegende Erfindung sowie die ihr zugrundeliegende Problematik in bezug auf einen mikromechanischen Schwingspiegel erläutert.

Es existieren mehrere Designvarianten für mikromechanische Schwingspiegel. Beispielsweise kann eine Aluminium-Membran durch elektrostatische Kräfte ausgelenkt werden, wie in Texas Instruments, L.J. Hornbeck, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. 1150 (1989) 86; J. Bühler et al. J. MEMS 6 (1997) 126 offenbart.

Über bewegliche Spiegel aus monokristallinem Silizium (IBM, K.E. Petersen, IBM J. Res. Develop. 24 (1980) 631) oder aus Polysilizium (CSEM, V.P. Jaeklin et al., Proc. IEEE Micro Electro Mech. System Workshop, FL, USA (1993) 124) wird ebenfalls berichtet.

Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Problematik besteht darin, daß diese Konzepte vor allem bei großen Spiegeln mit Lateraldimensionen im Bereich von einigen 100 μm lediglich kleine Winkel auslenkungen im Bereich von wenigen Grad erlauben, was auf die beschränkte maximal mögliche Randauslenkung zurückzuführen ist. Bei oberflächen-mikromechanischen Konzepten wird die Randauslenkung durch den kleinen Substratabstand von einigen wenigen Mikrometern begrenzt, während bei den bulk-mikromechanischen Komponenten die dicken Torsionsfederanhangungen auch bei großen Antriebsspannungen nur relativ geringe Torsionswinkel zulassen bzw. Herstellungstoleranzen große Streuungen der Spiegel-eigenschaften hervorrufen.

VORTEILE DER ERFINDUNG

Das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 weist gegenüber den bekannten Lösungsansätzen den Vorteil auf, daß große Auslenkwinkel erreicht werden können, ohne daß die Prozeßtechnologie erschwert ist.

Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Idee besteht darin, daß eine mikromechanische Vorrichtung, insbesondere eine resonante Schwingspiegelvorrichtung aus Silizium, an Verbindungsstegen, vorzugsweise langen Balken aus Silizium, derart freibeweglich aufgehängt ist, daß er sich um seine Längsachse drehen kann. Darunter ist das Bulkmaterial vollständig entfernt, d. h. der Wafer lokal durchlöchert, so daß die Vorrichtung um die Verbindungssteg Torsionsschwingungen ausführen kann, die eine solche Amplitude aufweisen, daß ein Teil der Vorrichtung in den Bereich des entfernten Bulkmaterials hineinragt.

Im Fall einer resonanten Schwingspiegelvorrichtung dient die reflektierende Fläche des Spiegels gleichzeitig als Aktor zur Verstellung des Spiegels. Eine zum Beispiel durch justiertes Gegenboden unter dem Spiegel plazierte Gegen-elektrode bildet mit der Spiegelfläche einen Kondensator. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung wird das Spiegel-element ausgelenkt. Die Vorrichtung kann bei Umgebungsdruck betrieben werden, da aufgrund des großen Abstandes zwischen Spiegel und gegengebundenen Antriebs-elektroden nur eine relativ geringe Luftreibung vorhanden ist. Wird das Spiegel-element durch die Akteure in seiner mechanischen Resonanz angeregt, so wird die durch die elektrostatischen Kräfte erreichbare Auslenkung des Aktors

durch den Faktor der mechanischen Güte überhöht.

In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des in Anspruch 1 angegebenen Herstellungsverfahrens.

5 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung erfolgt zunächst das Durchätzen des Bereichs der dritten Schicht, danach das Durchätzen der ersten Schicht und danach das Entfernen des Bereichs der zweiten Schicht.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung erfolgt 10 das Durchätzen des Bereichs der dritten Schicht durch eine anisotrope Rückseitenätzung. Mit etablierten Naßätzverfahren, z. B. KOH, TMAH, können kostengünstig tiefe Strukturen in Silizium geätzt werden. Auf die Strukturierung wirkt sich die Notwendigkeit von Kompressionsstrukturen 15 zum Schutz konvexer Ecken aus.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung erfolgt das Durchätzen der ersten Schicht durch eine Trockenätzung. Mit Naßätzverfahren können mikromechanische Federaufhängungen prozeßsicher nur mit Lateraldimensionen 20 von > 100 μm realisiert werden. Demgegenüber können in der Oberflächenmikromechanik durch Trockenätzprozesse (Plasmatrennen) beliebige Strukturen mit Lateraldimensionen von 10 μm und darunter mit großen Aspektverhältnissen senkrecht ins Substrat geätzt werden. Allerdings ist ein 25 Tiefätzen > 100 μm aus Kostengründen nicht effektiv praktikabel.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines Mikrospiegels mit großen Auslenkwinkeln besteht vorzugsweise aus einer Kombination von einerseits lateral hochauflösendem Trockenätzen der Spiegelstruktur und andererseits dem üblichen Tiefätzen der Rückseitenstruktur.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung erfolgt 30 zunächst das Durchätzen der ersten Schicht und danach das Entfernen des Bereichs der zweiten Schicht und das Durchätzen des Bereichs der dritten Schicht.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung erfolgt das Durchätzen des Bereichs der dritten Schicht durch eine anodische Rückseitenätzung zum Porösmachen des Bereichs der dritten Schicht und anschließendes Entfernen des porös gemachten Bereichs. In diesem Fall ist kein Vorderseitenschutz (Schutzschicht oder Ätzdose) notwendig, sondern nur eine Rückseitenmaske, beispielsweise aus Gold oder Chrom/Gold oder $\text{SiO}_2+\text{Cr}+\text{Au}$ etc., notwendig. Bei den großen Elementen ist der Flächenverbrauch bei 40 (100)-Standard-Wafers im Vergleich zu KOH-geätzten Rückseitenkavernen deutlich verkleinert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird 45 der Bereich der zweiten Schicht direkt im Anodisierelektrolyt entfernt. Es ist kein zusätzliches Ätzen der mittleren zweiten Schicht, z. B. Opferoxidätzen, notwendig, denn die zweite Schicht, z. B. das Oxid, wird durch den Anodisier-Elektrolyten geätzt. Das Anodisieren ist im übrigen in der Halbleiterfertigung unkritisch, es werden kein KOH und kein NaOH usw. verwendet, sondern CMOS-kompatible Prozeßflüssigkeiten, wie z. B. Flußsäure und DI-Wasser.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung erfolgt 50 ein Aufbringen von Gegenelektroden auf einem Sockel und Bonden des Sockels auf die dritte Schicht derart, daß die Gegenelektroden im wesentlichen gegenüber dem Inselbereich liegen. Die Gegenelektroden zum kapazitiven Antrieb des Spiegels werden dabei zweckmäßigerverweise auf geeignetem isolierendem Material gegengebunden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird 55 eine Sol-Struktur mit einer SOI-Schicht, welche unter Zwischensetzen einer Isolationsschicht auf einer Siliziumsubstratschicht vorgesehen ist, als die dreischichtige Struktur bereitgestellt. Dies ist eine übliche Standardstruktur in der Mikromechanik.



Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden als Verbindungsstege schmale Bereiche der ersten Schicht verwendet werden, die durch eine geeignete Maskengeometrie durch den Ätzprozeß gebildet werden. Diese können im Fall der Schwingspiegelvorrichtung als Torsionsfedern dienen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden als Verbindungsstege schmale Bereiche einer vorzugsweise metallischen Zusatzschicht verwendet. Diese können im Fall der Schwingspiegelvorrichtung als Torsionsfedern dienen. Bei Realisierung anderer Vorrichtungen können die Verbindungsstege auch als Lagerelemente dienen.

ZEICHNUNGEN

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1a-1e eine Querschnittsdarstellung der Prozeßschritte gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Schwingspiegels;

Fig. 2a-2c eine Querschnittsdarstellung der Prozeßschritte gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Schwingspiegels; und

Fig. 3 eine Draufsicht auf den Schwingspiegel im Prozeßstadium von Fig. 1d bzw. Fig. 2d.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

Fig. 1a-1e zeigen eine Querschnittsdarstellung der Prozeßschritte gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Schwingspiegels.

In Fig. 1a ist eine SOI-Waferstruktur mit einer SOI-Schicht 10, welche unter Zwischensetzen einer Isolationsschicht 20 (z. B. einer Oxidschicht) auf einer Siliziumsubstratschicht 30 vorgesehen ist, dargestellt.

Gemäß Fig. 1b wird die Siliziumsubstratschicht 30 bis zur Isolationsschicht 20 durch Naßätzen durchgeätzt. Dies geschieht zweckmäßigerweise mit TMAH, KOH und wird bei einem vorderseitig ätzgeschützen und rückseitig maskierten SOI-Wafer zur Erzeugung eines Kavernenbereiches 70 durchgeführt.

Gemäß Fig. 1c erfolgt darauf ein Durchätzen der SOI-Schicht 10 bis zur Isolationsschicht 20 zum Erzeugen eines auf der Isolationsschicht 20 liegenden Inselbereichs 40, der über zwei Verbindungsstege 50 (vergl. Fig. 3) mit dem den Inselbereich 40 umgebenden Bereich 60 der SOI-Schicht 10 verbunden ist. Das Ätzen geschieht nach einer Belackung des Rückseiten-Kavernenbereichs 70 mittels eines geeigneten Trockenätzverfahrens, beispielsweise Plasmatrennen. So wird unter Zurückbelassung von den maskierten Verbindungsstegen 50 die Spiegelstruktur mit Federaufhängungen in das dünne Silizium der SOI-Schicht 10 strukturiert.

Gemäß Fig. 1d wird durch das Ätzen der Isolationsschicht 20 in der Gasphase oder durch eine naßchemische Ätzung die Spiegelstruktur freitragend durch die Ausbildung des entfernten Bereichs 75 der Isolierschicht 20.

Gemäß Fig. 1e werden zum Antrieb des Schwingspiegels geeignete Elektroden 110 und 120 auf der Rückseite auf einem isolierenden Sockel 100 angebracht, und der Sockel 100 wird auf die Siliziumsubstratschicht 30 gebondet oder geklebt. Das leitfähige hochdotierte Silizium des Schwingspiegels wirkt als Gegenelektrode, so daß Torsionsschwingungen in den mit T und T' gekennzeichneten Richtungen

möglich sind, die eine solche Amplitude aufweisen, daß ein Teil des Schwingspiegels in den durchgeätzten Bereich 70 der Siliziumsubstratschicht 30 hineinragt.

Fig. 2a-2e zeigen eine Querschnittsdarstellung der Prozeßschritte gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Schwingspiegels.

Fig. 2a zeigt die gleiche Darstellung wie Fig. 1a, also eine übliche SOI-Struktur.

10 Im Unterschied zur ersten Ausführungsform wird gemäß Fig. 2b zunächst das Ätzen der SOI-Schicht 10 bis zur Isolationsschicht 20 zum Erzeugen des Inselbereichs 40 entsprechend dem Schwingspiegel, der über die beiden Verbindungsstege 50 mit dem den Inselbereich 40 umgebenden Bereich 60 der ersten Schicht verbunden ist, durchgeführt. Dies geschieht wie bei der ersten Ausführungsform mittels eines geeigneten Trockenätzverfahrens mit hoher Lateralauflösung, beispielsweise des Plasmatrennens.

Gemäß Fig. 2c wird eine Anodisierung bei beispielsweise 20 mit Gold entsprechend maskierter Rückseite durchgeführt, wobei eine Endpunkterkennung durch einen Spannungssprung bei vollständiger Anodisierung des zu bildenden Rückseiten-Kavernenbereichs 80 möglich ist. Eine elektrolytische Kontaktierung des hochdotierten Bulks erfolgt auf 25 der Kathodenseite. Gleichzeitig wird das Oxid der Zwischenschicht 20 direkt im Anodiserelektrolyt, beispielsweise Flußsäure, zur Bildung des Bereichs 85 durchgeführt. Durch geeignete Wahl der Anodisierungssparameter kann die Anodisierungsraten sehr viel größer als die Ätzrate der Isolationsschicht 20 aus Oxid eingestellt werden, wodurch nur ein geringes Unterätzen des Umgebungsbereichs der oberen SOI-Schicht 10 stattfindet.

Gemäß Fig. 2d erfolgt darauf das Lösen des porösen Siliziums im Bereich 80 durch NH₃, verdünnte KOH oder ähnlichem.

30 Gemäß Fig. 2e werden analog Fig. 1e zum Antrieb des Schwingspiegels geeignete Gegenelektroden 110, 120 angebracht. Diese sind isoliert auf dem Sockel 100 vorgesehen, welcher beispielsweise durch Kleben oder durch Bonden, 40 mit der SOI-Struktur verbunden wird.

Fig. 3 ist eine Draufsicht auf den Schwingspiegel im Prozeßstadium von Fig. 1d bzw. Fig. 2d, wobei aus dieser Darstellung die beiden Verbindungsstege 50 als Torsionsfedern deutlich erkennbar sind, welche die Drehachse A für den so gebildeten Schwingspiegel 40 definieren.

Obwohl die vorliegende Erfindung anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels vorstehend beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar.

50 Beispielsweise können zusätzlich Elektroden auf die der dritten Schicht zugewandten Fläche des Inselbereichs aufgebracht werden.

Auch ist die Erfindung nicht auf eine SOI-Struktur beschränkt, sondern für alle gängigen Materialien mikromechanischer Vorrichtungen anwendbar.

Mit dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren lassen sich mikromechanische Schwingspiegel für sehr große Amplituden zum Einsatz in Baulasern, Barcode-Lasern, Raumüberwachung, Sitzbelegungserkennung in Kfz o. ä. 60 herstellen.

Schließlich wurde in den obigen Ausführungsbeispielen eine Spiegelstruktur gezeigt, doch ist die Erfindung auch auf Strukturen anwendbar, bei denen der Inselbereich nicht ein Spiegelement, sondern ein sonstiger mechanischer Aktor, wie z. B. ein Stellglied o. ä. ist.

X

Bezugszeichenliste

10 erste Schicht	
20 zweite Schicht	
30 dritte Schicht	
40 Inselbereich	5
50 Verbindungsstege	
70, 80 Rückseiten-Kavernenbereich	
75, 85 entfernter Bereich der zweiten Schicht	
T, T' Torsionsschwingungsrichtungen	10
100 Sockel	
110, 120 Gegenelektroden	

Patentansprüche

15

1. Herstellungsverfahren für eine mikromechanische Vorrichtung, insbesondere für eine mikromechanische Schwingspiegelvorrichtung, mit den Schritten:
Bereitstellen einer dreischichtigen Struktur (10, 20, 30) mit einer ersten Schicht (10), einer zweiten Schicht (20) und einer dritten Schicht (30), wobei die zweite Schicht (20) zwischen der ersten und der dritten Schicht (10, 30) liegt; Durchätzen der ersten Schicht (10) bis zur zweiten Schicht (20) zum Erzeugen eines auf der zweiten Schicht (20) liegenden Inselbereichs (40), der über einen oder mehrere Verbindungsstege (50) mit dem den Inselbereich (40) umgebenden Bereich (60) der ersten Schicht (10) verbunden ist; und Durchätzen eines Bereichs (70, 80) der dritten Schicht (30) bis zur zweiten Schicht (20) und Entfernen eines Bereichs (75, 85) der zweiten Schicht (20) unter dem Inselbereich (40) derart, daß der Inselbereich (40) um den einen oder die mehreren Verbindungsstege (50) Bewegungen, vorzugsweise Torsionsschwingungen, ausführen kann, die eine solche Amplitude aufweisen, daß ein Teil des Inselbereichs (40) in den durchgeätzten Bereich (70, 80) der dritten Schicht (30) hineinragt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst das Durchätzen des Bereichs (70) der dritten Schicht (30), danach das Durchätzen der ersten Schicht (10) und danach das Entfernen des Bereichs (75) der zweiten Schicht (20) durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Durchätzen des Bereichs (70) der dritten Schicht (30) durch eine anisotrope Rückseitenätzung durchgeführt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Durchätzen der ersten Schicht (10) durch eine Trockenätzung durchgeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst das Durchätzen der ersten Schicht (10) und danach das Entfernen des Bereichs (85) der zweiten Schicht (20) und das Durchätzen des Bereichs (80) der dritten Schicht (30) durchgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Durchätzen des Bereichs (80) der dritten Schicht (30) durch eine anodische Rückseitenätzung zum Porösmachen des Bereichs (80) der dritten Schicht (30) und anschließendes Entfernen des porös gemachten Bereichs (80) durchgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Bereich (85) der zweiten Schicht (20) direkt im Anodisierelektrolyt entfernt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Schritte des Aufbringens von Gegenelektroden (110, 120) auf einem Sockel (100) und Bonden des Sockels (100) auf die dritte

Schicht (30) derart, daß die Gegenelektroden (110, 120) im wesentlichen gegenüber dem Inselbereich (40) liegen.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch den Schritt des Bereitstellens einer SOI-Struktur mit einer SOI-Schicht (10), welche unter Zwischensetzen einer Isolationsschicht (20) auf einer Siliziumsubstratschicht (30) vorgeschen ist, als die dreischichtige Struktur (10, 20, 30).

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Verbindungsstege (50) schmale stehengelassene Bereiche der ersten Schicht (10) verwendet werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Verbindungsstege (50) schmale Bereiche einer vorzugsweise metallischen Zusatzschicht verwendet werden.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

X

- Leerseite -

FIG. 1a

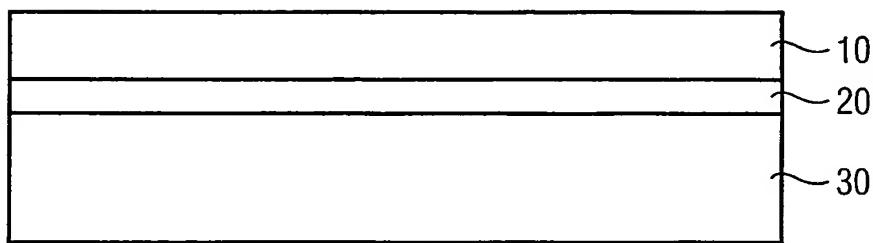


FIG. 1b

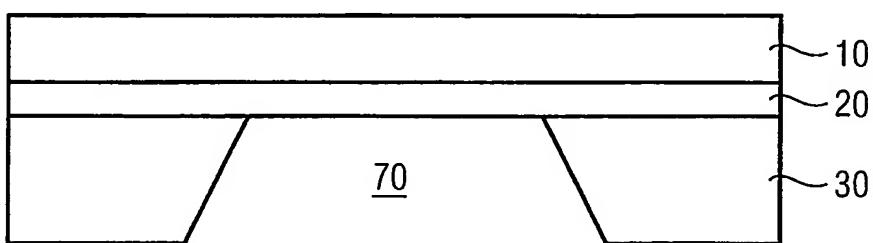


FIG. 1c

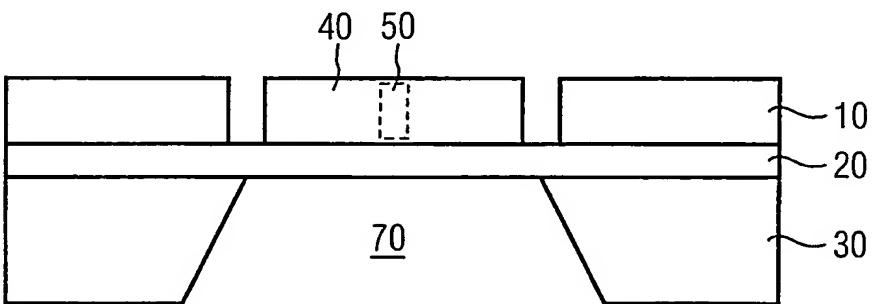


FIG. 1d

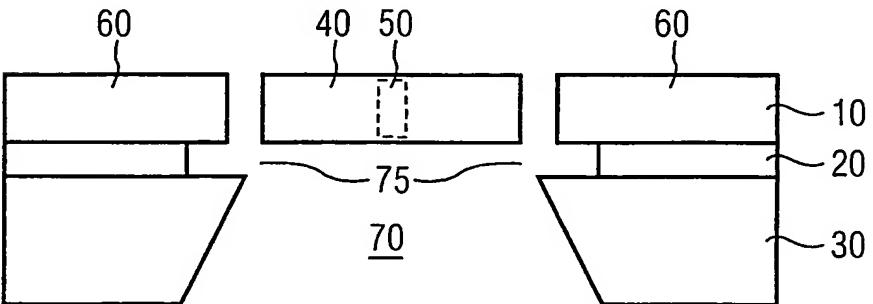


FIG. 1e

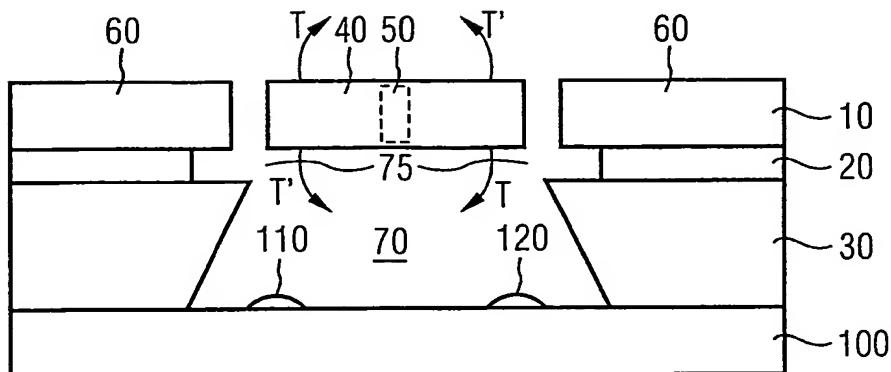


FIG. 2a

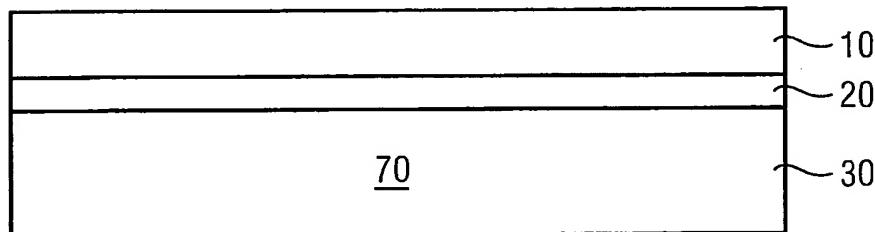


FIG. 2b

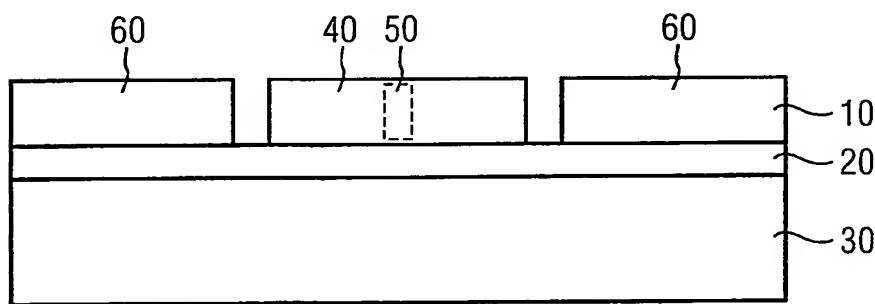


FIG. 2c

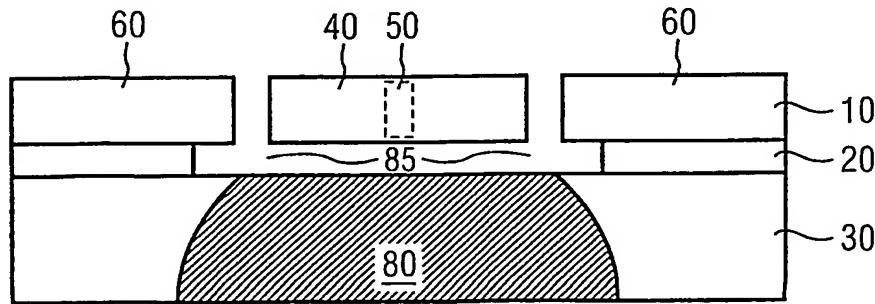


FIG. 2d

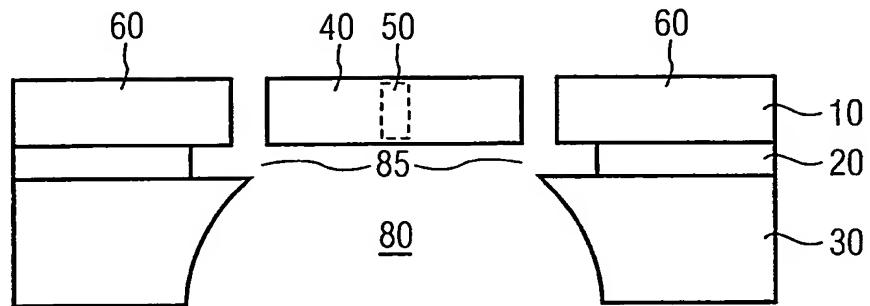


FIG. 2e

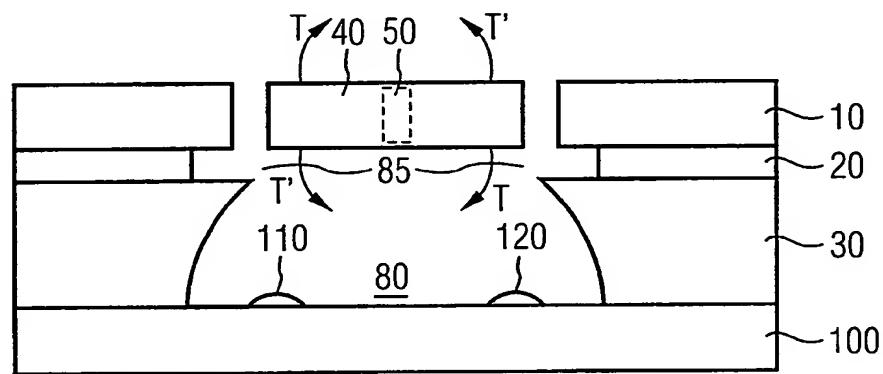


FIG. 3

